

⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 101 59 056 A 1

⑮ Int. Cl.⁷:
F 16 S 1/04
C 23 C 14/08
C 23 C 28/00
F 23 R 3/42
F 01 D 5/18

⑯ Aktenzeichen: 101 59 056.3
⑯ Anmeldetag: 28. 11. 2001
⑯ Offenlegungstag: 26. 6. 2003

DE 101 59 056 A 1

- ⑯ Anmelder:
ALSTOM (Switzerland) Ltd., Baden, CH
- ⑯ Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241
München

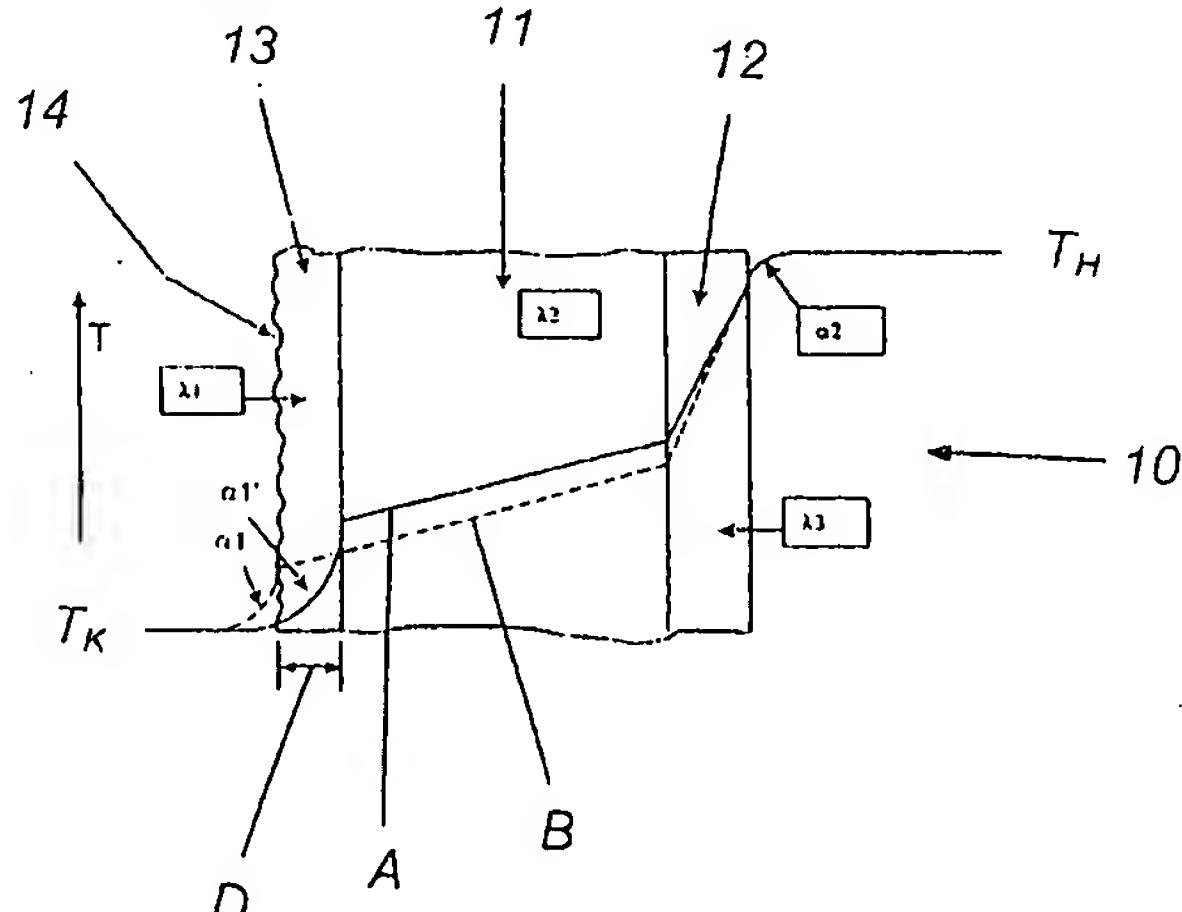
- ⑯ Erfinder:
Braun, Jost, Dr., 79761 Waldshut-Tiengen, DE
- ⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

US200 0/60 15 630 A
US 60 01 492 A
US 59 12 087 A
US 60 71 628
US 59 81 091
US 58 91 267
EP 09 92 603 A1
EP 07 14 996 A1
WO 94/08 069 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ⑯ Thermisch hoch belastetes Bauteil sowie Verfahren zu seiner Herstellung

- ⑯ Die Erfindung bezieht sich auf ein thermisch hoch belastetes Bauteil (10) mit einer Wand (11), welche auf der einen Seite einem Heißmedium mit einer ersten Temperatur (T_H) ausgesetzt ist und auf der anderen Seite durch ein Kühlmedium mit einer zweiten Temperatur (T_K), welche kleiner ist als die erste Temperatur (T_H), konvektiv gekühlt wird. Bei einem solchen Bauteil wird die Temperaturbelastung auf einfache Weise dadurch verringert, dass die Wand (11) auf der dem Kühlmedium zugewandten Seite mit einer Kühlsschicht (13) beschichtet ist, dass die Kühlsschicht (13) eine Oberflächenstruktur (14) aufweist, derart, dass die konvektive Wärmeübertragung von der Kühlsschicht (13) zum Kühlmedium (Wärmeübergangszahl α_1) größer ist als die konvektive Wärmeübertragung von der unbeschichteten Wand (11) zum Kühlmedium (Wärmeübergangszahl α_1') und dass die Dicke (D) der Kühlsschicht (13) so gewählt ist, dass die sich bei Beschichtung mit der Kühlsschicht (13) ergebende Wärmedurchgangszahl (k) zwischen dem Kühlmedium und der Wand (11) größer ist als die sich ohne Kühlsschicht (13) ergebende Wärmedurchgangszahl zwischen Kühlmedium und der Wand (11).



DE 101 59 056 A 1

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der thermischen Maschinen. Sie betrifft ein thermisch hoch belastetes Bauteil mit einer Wand, welche auf der einen Seite einem Heissmedium mit einer ersten Temperatur ausgesetzt ist und auf der anderen Seite durch ein Kühlmedium mit einer zweiten Temperatur, welche kleiner ist als die erste Temperatur, konvektiv gekühlt wird. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung dieses Bauteiles.

STAND DER TECHNIK

[0002] Thermisch hochbelastete Bauteile, z. B. Schaufeln, Brennkammer oder Strukturteile in Gasturbinen, werden heute im allgemeinen mittels eines Kühlmediums, üblicherweise Kühlluft, gekühlt, damit die Materialtemperatur unter einem maximal zulässigen Wert bleibt. Dieser maximal zulässige Wert ist im wesentlichen vom Material, dem mechanisch/thermischen Spannungszustand, den Strömungs- und Wärmeübertragungsbedingungen auf der heißen Seite und den Strömungs- und Wärmeübertragungsbedingungen auf der Kühlungsseite abhängig. Um z. B. aus Wirkungsgrad-/Leistungsgründen bei thermischen Turbomaschinen und modernen Motoren eine weitere Erhöhung der Temperaturen auf der heißen Seite ohne Erhöhung der benötigten Kühlluftmenge zu erzielen, oder umgekehrt bei gleichen Temperaturen und Kühlluftmengen die Belastung des Bauteiles zu reduzieren, sind heute verschiedene Maßnahmen bekannt, die am Ende die Kühleffektivität verbessern. Dazu gehören verschiedene Maßnahmen, wie Filmkühlung, Prallkühlung, aber auch die Beschichtung der Bauteile auf der heißen Seite mit einem meist keramischen Material, das aufgrund seiner speziellen Eigenschaften, nämlich niedriger Wärmeleitfähigkeit kombiniert mit hoher ertragbarer Temperatur, den Wärmedurchgang zum Bauteil hin verringert. Mit einer solchen Wärmedämmeschicht (Thermal Barrier Coating, TBC) kann die Materialtemperatur des zu kühlenden Bauteiles abgesenkt werden (siehe z. B. die Druckschriften US-A-5,891,267 oder US-A-5,981,091 oder US-A-6,071,628).

[0003] Nachteilig ist bei den Verfahren, dass einer weiteren Verbesserung der gesamten Kühlwirkung immer Grenzen gesetzt sind, etwa bei einer Erhöhung der Kühl- bzw. Kühlmediennenge durch die verbundenen erhöhten Verluste an Leistung und/oder Wirkungsgrad der Gesamtmaschine oder bei einer Verdickung der Schichten die geringere Haltbarkeit und das Risiko des Abplatzens unter lokalem Verlust der Wärmedämmung.

[0004] Weiterhin ist die Wärmedämmeschicht bei Gasturbinen meist der Hauptströmung ausgesetzt, so dass es im Falle äußerer Beschädigungen der Schicht bei der Montage oder während des Betriebes (z. B. FOD oder beim Schnellschluss durch schnelle Abkühlung) zu Rissen oder Fehlstellen kommen kann, die zu einer lokalen Überhitzung des Bauteils führen können.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0005] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein gekühltes Bauteil zu schaffen, welches im Effekt und insbesondere in Kombination mit bekannten Kühlmethoden zu einer weiteren Reduktion der Bauteiltemperatur führt, ohne dass etwa Kühlluftmengen erhöht werden und deren nachteilige Effekte in Kauf genommen werden müssen, sowie Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauteils anzugeben.

[0006] Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale der Ansprüche 1 sowie 8 bis 12 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, die gekühlte Wand des Bauteils auf der dem Kühlmedium zugewandten Seite mit einer dünnen Schicht zu versehen, die durch eine entsprechend strukturierte Oberfläche die konvektive Kühlung merklich erhöht, so dass die durch die zusätzliche Schicht bewirkte verschlechterte Wärmeleitung überkompensiert wird und im Effekt der Wärmeübergang zwischen Wand und Kühlmedium insgesamt verbessert wird.

[0007] Vorzugsweise besteht die Wand aus einem Material mit einer ersten Wärmeleitzahl, und das Material der Kühlenschicht weist eine zweite Wärmeleitzahl auf, welche grösser oder gleich der ersten Wärmeleitzahl ist.

[0008] Es ist aber auch denkbar, dass das Material der Kühlenschicht eine zweite Wärmeleitzahl aufweist, welche kleiner ist als die erste Wärmeleitzahl.

[0009] Eine weitere Verbesserung der Temperaturverhältnisse ergibt sich, wenn gemäss einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung die Wand des Bauteils auf der dem Heissmedium zugewandten Seite zusätzlich mit einer Wärmedämmeschicht (TBC – Thermal Barrier Coating) versehen ist.

[0010] Die erfundungsgemäss Kühlenschicht wird vorzugsweise eingesetzt bei einem Bauteil, welches ein Bauteil aus dem heissgasbeaufschlagten Teil einer Gasturbine, insbesondere eine Gasturbinenschaufel oder ein Rotor- oder ein Statorhitzeschild, ist.

[0011] Das mit der erfundungsgemässen Kühlenschicht versehene Bauteil kann aber auch ein gekühltes Teil eines wegen des Druckverhältnisses hohen Temperaturen ausgesetzten Verdichters sein.

[0012] Es ist aber auch denkbar, dass das Bauteil Teil der Brennkammerwand einer Gasturbine, ein Brennerteil oder ein anderes gekühltes Bauteil einer Gasturbinenbrennkammer ist.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0013] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Die einzige Figur zeigt in einer schematisierten Darstellung im Vergleich den Temperaturverlauf in der mit einer Wärmedämmeschicht versehenen Wand eines gekühlten Bauteils ohne (durchgezogen) und mit (gestrichelt) einer Kühlenschicht nach der Erfindung.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0014] Die Erfindung geht aus von einer Konfiguration, wie sie in der einzigen Figur schematisch dargestellt ist. Ein thermisch hoch belastetes Bauteil 10 weist eine Wand 11 auf, die auf der einen Seite einem Heissmedium mit einer Temperatur T_{H1} ausgesetzt ist. Die Wand 11 kann auf dieser Seite mit einer zusätzlichen Wärmedämmeschicht 12 beschichtet sein. Auf der anderen Seite wird die Wand 11 durch ein Kühlmedium gekühlt, welches sich auf einer Temperatur T_K befindet. Die Wand 11 hat eine Wärmeleitfähigkeit λ_2 , die Wärmedämmeschicht 12 hat eine Wärmeleitfähigkeit λ_3 . An der Grenze zwischen Wärmedämmeschicht 12 und dem Heissmedium ergibt sich eine Wärmeübergangszahl α_2 . Grenzt die Wand 11 direkt an das Kühlmedium an, ergibt sich an dieser Grenze eine Wärmeübergangszahl α_1 . Der Temperaturverlauf in der Wand des Bauteils 10 wird für diesen Fall durch die durchgezogene Kurve A beschrieben.

[0015] Die Erfindung sieht nun das Aufbringen einer weiteren Beschichtung, nämlich einer Kühlenschicht 13, vor, die allerdings im Gegensatz zu der Wärmedämmeschicht 12 auf

der heißen Seite des Bauteils 10 (Thermal Barrier Coating, TBC) erfundungsgemäß auf der gekühlten Seite des Bauteils 10 angeordnet ist, um dort gezielt den Wärmeübergang von der Wand 11 zum Kühlmedium zu erhöhen. Eine derartige Beschichtung muss bestimmte Eigenschaften aufweisen, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. Im Gegensatz zur Wärmedämmsschicht 12 muss das Beschichtungsmaterial der Kühlschicht 13 eine möglichst hohe Wärmeleitfähigkeit λ_1 aufweisen und dabei gleichzeitig in der Dicke D so dünn wie möglich sein (ohne die Wirkung zu verringern), damit der zunächst einmal höhere Wärmewiderstand einer solchen Beschichtung gegenüber einer unbeschichteten Oberfläche minimiert bleibt.

[0016] Damit insgesamt ein geringerer Wärmewiderstand erzielt werden kann, muss die Beschichtung (Kühlschicht 13) die Wärmeübergangszahl (α_1) vom Kühlmedium auf die Oberfläche der Beschichtung aufgrund der Oberflächenstruktur 14 gezielt erhöhen. Hierbei ist entscheidend, dass die Beschichtung eine günstige Oberflächenstruktur 14 bewirkt, die der Strömungssituation am betrachteten Bauteil (Strömungsgrenzschicht auf der Kühlungsseite) angepasst ist.

[0017] In anderen Anwendungen, die nicht mit der Kühlung verknüpft sind, sind Beschichtungen mit gezielter Wirkung auf die Strömungsgrenzschicht bereits erfolgreich angewendet worden. Als Beispiel sei hier die Farbauftragung auf Flugzeugkörper genannt, bei der die Farbe nach Aufbringung eine Mikrostruktur erhält, die einer "Haifischhaut" ähnelt. Dieses Prinzip macht Gebrauch von der Beobachtung, dass ein stromlinienförmiger Körper wie beim Hai und beim Flugzeug durch die gezielte Rauigkeitserhöhung einen niedrigeren Widerstandsbeiwert aufweist als ein glatter Körper. Der Grund ist der gezielte frühere Umschlag der Grenzschicht in eine turbulente Strömung, so dass im Effekt eine dünnerne Grenzschicht und ein geringerer Luftwiderstand erreicht wird.

[0018] Mit einer erfundungsgemäßen Beschichtung bzw. Kühlschicht 13 kann man daher ebenfalls gezielt einen höheren Turbulenzgrad in der Grenzschicht an der gekühlten Fläche erreichen, der eine deutliche Erhöhung der Wärmeübergangszahl α_1 an dieser Fläche bedeutet und, bei entsprechend dünner Schicht und ausreichend hoher Wärmeleitfähigkeit des Materials, insgesamt die Wärmedurchgangszahl k erhöht und die gewünschte Materialtemperaturabsenkung erzielt.

[0019] Besonders wirkungsvoll ist eine solche Beschichtung daher in Verbindung mit einer Wärmedämmsschicht 12 auf der heißen Seite, die aber im Einzelfall nicht zwingend vorausgesetzt werden muss.

[0020] Die Figur zeigt mit der gestrichelten Kurve B den Temperaturverlauf im Bauteil als Folge einer solchen Beschichtung. Man kann deutlich erkennen, dass die Erhöhung der Wärmeübergangszahl α_1 auf der Kühlmediumsseite in Verbindung mit der dem Grundmaterial ähnlichen Wärmeübergangszahl und der geringen Dicke D der Kühlschicht zu einer deutlichen Reduktion der mittleren Temperatur im zu kühlenden Bauteil 10 führt. Gleichzeitig wird die an das Kühlmedium übertragene Wärmemenge pro Flächeneinheit (Wärmestromdichte) erhöht, so dass auch der Temperaturgradient in der Wärmedämmsschicht 12 und der Wand 11 des Bauteils 10 vergrößert wird. Dadurch wird nicht nur die mittlere Bauteiltemperatur reduziert, sondern auch die kritische Temperatur an der Grenzfläche zwischen Wärmedämmsschicht 12 und Wand 11, was einen zusätzlichen Vorteil bezüglich der Haltbarkeit der Wärmedämmsschicht 12 bewirkt.

[0021] Die Herstellung der Kühlschicht 13 kann auf unterschiedliche Weise erfolgen:

Eine Möglichkeit besteht darin, dass das Schichtmaterial der Kühlschicht 13 in einem flüssigen oder teigigen Trägermaterial gelöst oder mit diesem vermischt wird, dass das Trägermaterial mit dem gelösten bzw. vermischten Schichtmaterial

5 auf die Wand 11 des Bauteils 10 aufgetragen wird, und dass das Trägermaterial bei Umgebungstemperatur oder einer höheren Temperatur verdampft und durch diesen Verdampfungsvorgang sowohl die Festigkeit als auch die gewünschte Oberflächenstruktur 14 der Kühlschicht 13 erreicht wird.

[0022] Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass ein Schichtmaterial für die Kühlschicht 13 verwendet wird, welches oberhalb der späteren Betriebstemperatur am Bauteil 10 in einem flüssigen oder teigigen Zustand ist, dass das Schichtmaterial in diesem Zustand auf die Wand 11 des Bauteils 10 aufgetragen wird und durch Abkühlung sowohl die Festigkeit als auch die gewünschte Oberflächenstruktur 14 der Kühlschicht 13 erreicht wird.

[0023] Weiterhin ist es möglich, dass ein Schichtmaterial für die Kühlschicht 13 aus der gasförmigen oder Plasma-phase auf die Wand 11 des Bauteils 10 aufgetragen wird und damit sowohl die Festigkeit als auch die gewünschte Oberflächenstruktur 14 der Kühlschicht 13 erreicht wird.

[0024] Es ist aber auch denkbar, dass ein Schichtmaterial für die Kühlschicht 13 auf die Wand 11 des Bauteils 10 aufgebracht wird, und dass die gewünschte Oberflächenstruktur 14 nach dem Aufbringen mittels eines nachgeschalteten chemischen, elektrischen, elektrochemischen oder mechanischen Strukturierungsvorgangs erzeugt wird.

[0025] Ein solcher Vorgang lässt sich weiter vereinfachen, wenn ein Schichtmaterial für die Kühlschicht 13 und die gewünschte Oberflächenstruktur 14 mittels eines chemischen, elektrischen, elektrochemischen oder mechanischen Auftrags- und Strukturierungsvorgangs erzeugt wird.

BEZUGSZEICHENLISTE

10 Bauteil (thermisch hoch belastetes)

11 Wand (Bauteil)

12 Wärmedämmsschicht

13 Kühlschicht

14 Oberflächenstruktur

A, B Kurve

D Dicke (Kühlschicht)

α_1, α_1' , α_2 Wärmeübergangszahl

45 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ Wärmeleitzahl

T Temperatur

T_H Temperatur Heissmedium

T_K Temperatur Kühlmedium

Patentansprüche

1. thermisch hoch belastetes Bauteil (10) mit einer Wand (11), welche auf der einen Seite einem Heissmedium mit einer ersten Temperatur (T_{H1}) ausgesetzt ist und auf der anderen Seite durch ein Kühlmedium mit einer zweiten Temperatur (T_K), welche kleiner ist als die erste Temperatur (T_H), konvektiv gekühlt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Wand (11) auf der dem Kühlmedium zugewandten Seite mit einer Kühlschicht (13) beschichtet ist, dass die Kühlschicht (13) eine Oberflächenstruktur (14) aufweist, derart, dass die konvektive Wärmeübertragung von der Kühlschicht (13) zum Kühlmedium (Wärmeübergangszahl α_1) grösser ist als die konvektive Wärmeübertragung von der unbeschichteten Wand (11) zum Kühlmedium (Wärmeübergangszahl α_1'), und dass die Dicke (D) der Kühlschicht (13) so gewählt ist, dass die sich bei Beschichtung mit der Kühlschicht (13) ergebende Wär-

medurchgangszahl (k) zwischen dem Kühlmedium und der Wand (11) grösser ist als die sich ohne Kühlsschicht (13) ergebende Wärmedurchgangszahl zwischen Kühlmedium und der Wand (11).

2. Bauteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wand (11) aus einem Material mit einer ersten Wärmeleitzahl (λ_2) besteht, und dass das Material der Kühlsschicht (13) eine zweite Wärmeleitzahl (λ_1) aufweist, welche grösser oder gleich der ersten Wärmeleitzahl (λ_2) ist.

3. Bauteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wand (11) aus einem Material mit einer ersten Wärmeleitzahl (λ_2) besteht, und dass das Material der Kühlsschicht (13) eine zweite Wärmeleitzahl (λ_1) aufweist, welche kleiner ist als die erste Wärmeleitzahl (λ_2).

4. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Wand (11) des Bauteils (10) auf der dem Heissmedium zugewandten Seite zusätzlich mit einer Wärmedämmsschicht (12) versehen ist.

5. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (10) ein Bauteil aus dem heissgasbeaufschlagten Teil einer Gasturbine, insbesondere eine Gasturbinenschaufel oder ein Rotor oder ein Statorhitzeschild, ist.

6. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (10) ein gekühltes Teil eines wegen dem Druckverhältnis hohen Temperaturen ausgesetzten Verdichters ist.

7. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (10) Teil der Brennkammerwand einer Gasturbine, ein Brennerteil oder ein anderes gekühltes Bauteil einer Gasturbinenbrennkammer ist.

8. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtmaterial der Kühlsschicht (13) in einem flüssigen oder teigigen Trägermaterial gelöst oder mit diesem vermischt wird, dass das Trägermaterial mit dem gelösten bzw. vermischten Schichtmaterial auf die Wand (11) des Bauteils (10) aufgetragen wird, und dass das Trägermaterial bei Umgebungstemperatur oder einer höheren Temperatur verdampft und durch diesen Verdampfungsvorgang sowohl die Festigkeit als auch die gewünschte Oberflächenstruktur (14) der Kühlsschicht (13) erreicht wird.

9. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schichtmaterial für die Kühlsschicht (13) verwendet wird, welches oberhalb der späteren Betriebstemperatur am Bauteil (10) in einem flüssigen oder teigigen Zustand ist, dass das Schichtmaterial in diesem Zustand auf die Wand (11) des Bauteils (10) aufgetragen wird und durch Abkühlung sowohl die Festigkeit als auch die gewünschte Oberflächenstruktur (14) der Kühlsschicht (13) erreicht wird.

10. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schichtmaterial für die Kühlsschicht (13) aus der gasförmigen oder Plasmaphase auf die Wand (11) des Bauteils (10) aufgetragen wird und damit sowohl die Festigkeit als auch die gewünschte Oberflächenstruktur (14) der Kühlsschicht (13) erreicht wird.

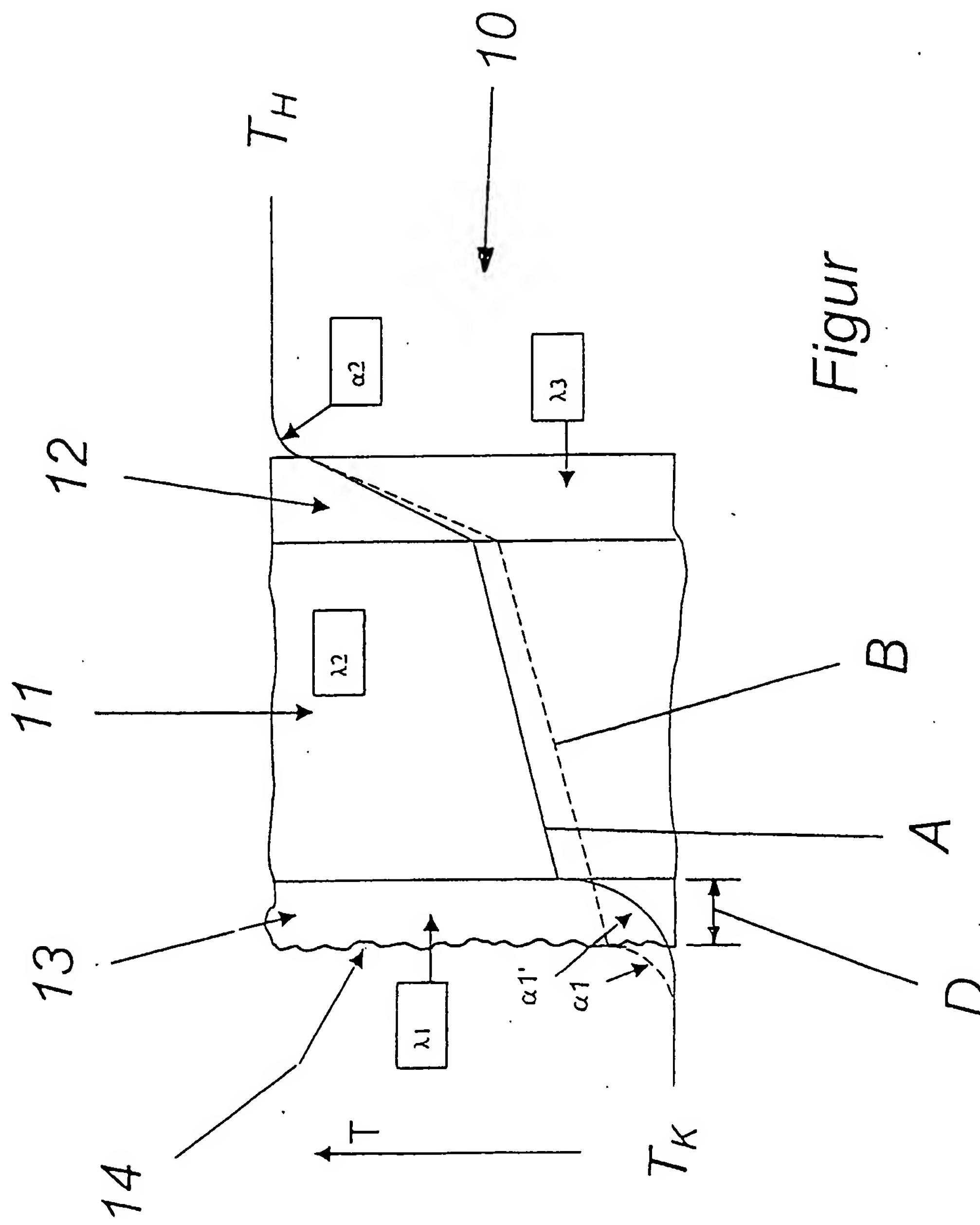
11. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schichtmaterial für die Kühlsschicht (13) auf die Wand (11) des Bauteils (10) aufgebracht wird, und dass die gewünschte Oberflächenstruktur (14) nach

dem Aufbringen mittels eines nachgeschalteten chemischen, elektrischen, elektrochemischen oder mechanischen Strukturierungsvorgangs erzeugt wird.

12. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schichtmaterial für die Kühlsschicht (13) und die gewünschte Oberflächenstruktur (14) mittels eines chemischen, elektrischen, elektrochemischen oder mechanischen Auftrags- und Strukturierungsvorgangs erzeugt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

*Figur*

Thermally loaded component used in gas turbines and in burners has a wall coated with a cooling layer on the side facing the cooling medium

Publication number: DE10159056

Publication date: 2003-06-26

Inventor: BRAUN JOST (DE)

Applicant: ALSTOM SWITZERLAND LTD (CH)

Classification:

- **International:** C23C26/00; C23C26/02; C23C28/00; C23C30/00;
F01D5/18; F01D5/28; F23M5/00; F23R3/00;
C23C26/00; C23C26/02; C23C28/00; C23C30/00;
F01D5/18; F01D5/28; F23M5/00; F23R3/00; (IPC1-7):
F16S1/04; C23C14/08; C23C28/00; F01D5/18;
F23R3/42

- **European:** C23C26/00; C23C26/02; C23C28/00; C23C30/00;
F01D5/18; F01D5/28F; F23M5/00; F23R3/00B

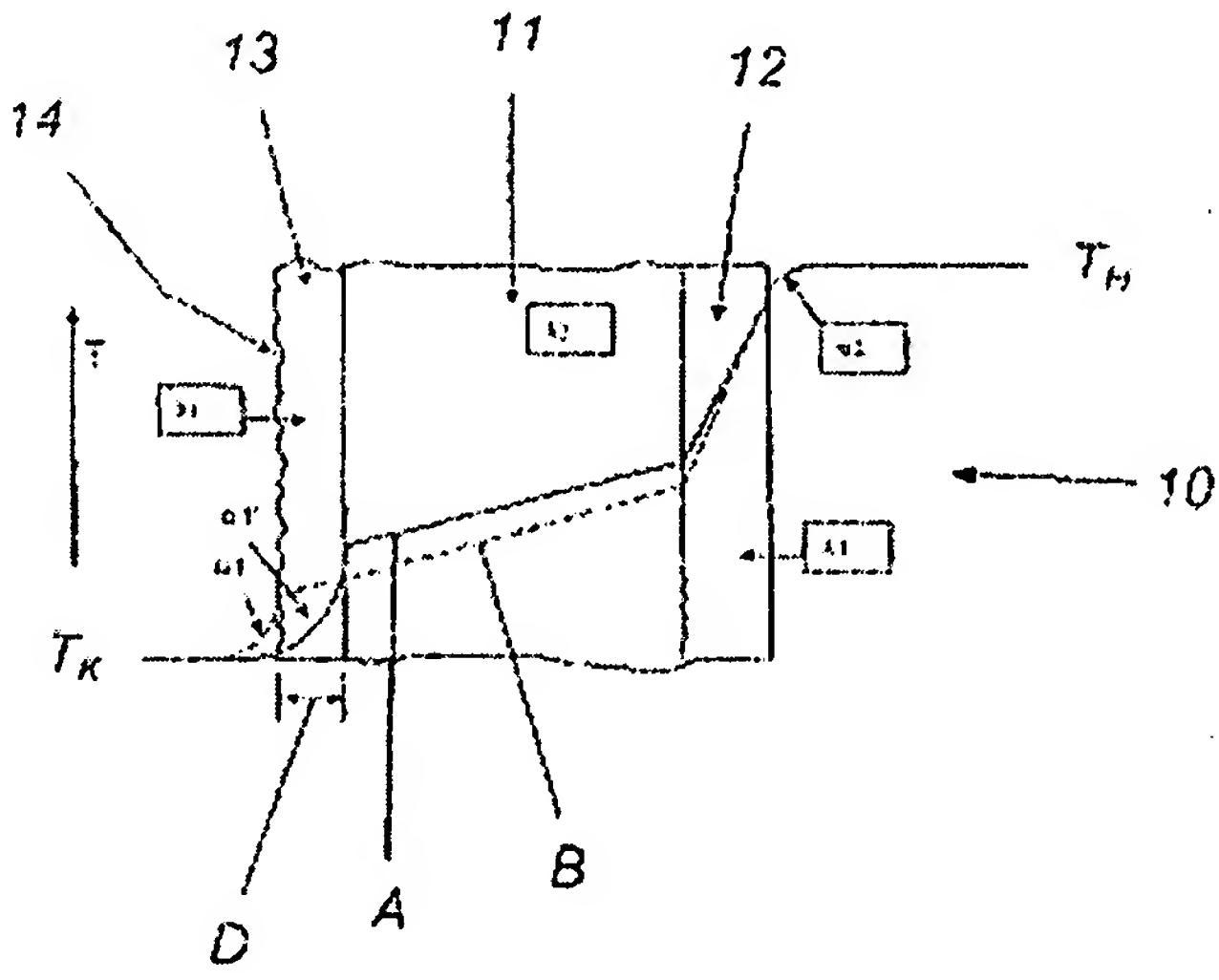
Application number: DE20011059056 20011128

Priority number(s): DE20011059056 20011128

[Report a data error here](#)

Abstract of DE10159056

Thermally loaded component (10) has a wall (11) coated with a cooling layer (13) on the side facing the cooling medium. The cooling layer has a surface structure (14) which is formed in such a way that the convective heat transfer from the cooling layer to the cooling medium is larger than the convective heat transfer from the non-coated wall to the cooling medium. The thickness of the cooling layer is selected so that heat transfer coefficient produced during coating with the cooling layer is larger between the cooling medium and the wall than the heat transfer coefficient between the cooling medium and the wall. Preferred Features: The wall is made from a material having a first thermal conductivity and the cooling layer is made from a material having a second thermal conductivity. The second thermal conductivity is larger than or equal to the first thermal conductivity. An Independent claim is also included for a process for the production of the component.





(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 186 749 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.03.2002 Patentblatt 2002/11

(51) Int Cl. 7: F01D 5/28, F02C 7/30

(21) Anmeldenummer: 00119578.3

(22) Anmeldetag: 07.09.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• Dirauf, Peter
91056 Erlangen (DE)

- Kiefer, Wolfgang
91056 Erlangen (DE)
- Leuze, Andreas
91090 Effeltrich (DE)
- Madl, Peter
91301 Forchheim (DE)
- Rosenkranz, Jens
06333 Hettstedt (DE)

(54) Strömungsmaschine sowie Turbinenschaufel

(57) Die Erfindung betrifft eine Strömungsmaschine (1) mit einem Strömungskanal (5) für ein Arbeitsfluid (A), welcher von einer Kanalwand (15) mit einer zumindest bereichsweise durch das Arbeitsfluid (A) unbenetzbarer Oberflächenstruktur (47) begrenzt ist. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Turbinenschaufel mit einer von ei-

nem Arbeitsfluid (A) beaufschlagbaren Schaufeloberfläche (39), wobei die Schaufeloberfläche zumindest bereichsweise eine durch das Arbeitsfluid (A) unbenetzbare Oberflächenstruktur (47) aufweist. Hierbei wird der Lotus-Effekt gezielt ausgenutzt, wobei Strömungsverluste und Verunreinigungen an der Kanalwand (15) vermieden werden.

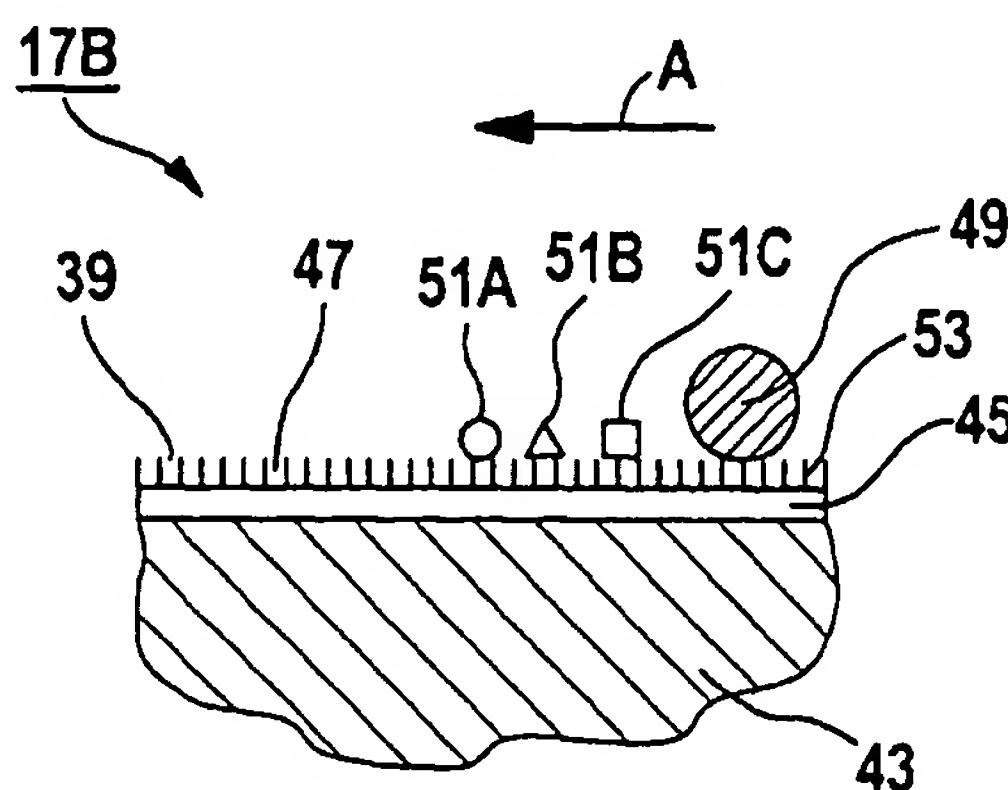


FIG 3A

Beschreibung

- [0001] Die Erfindung betrifft eine Strömungsmaschine mit einem Strömungskanal für ein Arbeitsfluid, welcher Strömungskanal von einer Kanalwand begrenzt ist. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Turbinenschaufel mit einer von einem Arbeitsfluid beaufschlagbaren Schaufeloberfläche.
- [0002] Unter Strömungsmaschine wird hier eine Turbomaschine, insbesondere eine Gasturbine oder eine Dampfturbine, ein Kompressor, ein Verdichter oder dergleichen, verstanden.
- [0003] Es ist für derartige Strömungsmaschinen bekannt, dass diese ein einzelnes Laufrad oder eine Anzahl von in einer Axialrichtung hintereinander angeordneten Laufrädern aufweisen, deren Laufschaufeln in Betrieb von einem gas- oder dampfförmigen Arbeitsfluid umströmt werden. Das Arbeitsfluid übt dabei auf die Laufschaufeln eine Kraft aus, die ein Drehmoment des Lauf- oder Schaufelrades und somit die Arbeitsleitung bewirkt. Dazu sind die Laufschaufeln üblicherweise an einer rotierbaren Welle der Strömungsmaschine angeordnet, deren an entsprechenden Leiträdern oder Leitschaufelträgern angeordnete Leitschaufeln am ruhenden, die Welle unter Bildung eines Strömungskanals umgebenden Gehäuse, das Strömungsmaschinengehäuse, angeordnet sind.
- [0004] Während bei einem Turboverdichter oder einem Kompressor dem Arbeitsfluid mechanische Energie zugeführt wird, wird bei einer Turbine, z.B. einer Dampfturbine, als Strömungsmaschine dem den Strömungskanal durchströmenden Arbeitsfluid mechanische Energie entzogen.
- [0005] Es sind verschiedene Mechanismen bekannt, die zu Wirkungsgradverlusten der Strömungsmaschine führen. Beispielsweise ist eine Begrenzung des Wirkungsgrades durch die sogenannten Radialspaltverluste bedingt. So ist bei beispielsweise mit Deckbändern versehenen Schaufeln die statische Druckdifferenz über das entsprechende Schaufelrad in nachteiliger Weise treibend für den über den Radialspalt zwischen dem Deckband und der Berandung des Strömungsgehäuses geführten Leckmassenstrom. Dieser wiederum ist proportional dem dadurch entstehenden Radialspaltverlust. Neben den Spaltverlusten sind Strömungsverluste infolge von Reibungseffekten des Arbeitsfluids bei der Wechselwirkung mit der den Strömungskanal begrenzenden Kanalwand bekannt. Es wurden daher in der Vergangenheit erhebliche Anstrengungen unternommen, die Kanalwand so auszustalten, dass bei der Wechselwirkung mit dem Arbeitsfluid möglichst geringe Reibungsverluste auftreten. So wurden beispielsweise die Schaufelprofile von Leitschaufeln und Laufschaufeln permanent konstruktiven Verbesserungen unterworfen. Ferner wurde versucht die die Kanalwand bildenden Komponenten mit möglichst glatter Oberfläche zu versehen.
- [0006] Neben diesen primären Strömungsverlusten, sind sekundäre Strömungsverluste infolge von Querströmungen im Arbeitsfluid sowie aufgrund der inneren Reibung des Arbeitsfluids bekannt.
- [0007] Im Betrieb einer Strömungsmaschine erfolgt über die Betriebsdauer darüber hinaus ein verschmutzungsbedingter Wirkungsgradabfall. Dieser ist auf den Eintrag von Verunreinigungen in den Strömungskanal und Ablagerung dieser Verunreinigungen auf der Kanalwand zurückzuführen. Die Ursache für diese Verschmutzung ist in der Regel das verunreinigte Arbeitsfluid, beispielsweise der Dampf für eine Dampfturbine oder die Verbrennungsluft in einer Gasturbinenanlage.
- [0008] Aufgabe der Erfindung ist es, eine hinsichtlich des Wirkungsgrades verbesserte Strömungsmaschine mit einem Strömungskanal für ein Arbeitsfluid, wobei der Strömungskanal von einer Kanalwand begrenzt ist, anzugeben. Dabei soll insbesondere der infolge des Betriebs der Strömungsmaschine verschmutzungsbedingte Wirkungsgradabfall verminder werden. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Turbinenschaufel mit einer von einem Arbeitsfluid beaufschlagbaren Schaufeloberfläche anzugeben.
- [0009] Die auf eine Strömungsmaschine gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Strömungsmaschine mit einem Strömungskanal für ein Arbeitsfluid, welcher von einer Kanalwand mit einer zumindest bereichsweise durch das Arbeitsfluid unbenetzbarer Oberflächenstruktur begrenzt ist.
- [0010] Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass die strömungstechnische Qualität der Kanalwand eines Strömungskanals von bedeutendem Einfluss auf den Wirkungsgrad der Strömungsmaschine ist. Eine charakteristische Kennzahl für die Effizienz der Energieumwandlung innerhalb einer Strömungsmaschine ist der isentrope Wirkungsgrad. In den bekannten Strömungsmaschinen ist eine Abnahme des Wirkungsgrades mit zunehmender Betriebszeit zu verzeichnen. Dieser Effekt ist auf eine Verschlechterung der strömungstechnischen Qualität der Kanalwand, beispielsweise der Beschaufelung, durch Ablagerung von Verunreinigungen zurückzuführen.
- [0011] Mit der Erfindung wird nun ein völlig neuer Weg beschritten, insbesondere dem verschmutzungsbedingten Wirkungsgradabfall der Strömungsmaschine gezielt entgegenzuwirken. Zur Vermeidung dieser Probleme wird die Kanalwand, die im Betrieb der Strömungsmaschine mit dem Arbeitsfluid beaufschlagt ist, gezielt mit einer Oberflächenstruktur versehen. Die Oberflächenstruktur der Kanalwand ist derart, dass diese durch das Arbeitsfluid unbenetzbar ist. Adhäsionskräfte zwischen dem Arbeitsfluid und der Kanalwand, insbesondere der Oberfläche der Kanalwand, sind bei einer unbenetzbaren Oberflächenstruktur nicht vorhanden, zumindest aber deutlich vermindert gegenüber einer herkömmlichen Kanalwand. Dadurch ist der Strömungswiderstand infolge Oberflächenreibung des strömenden Arbeitsfluids entlang der Kanalwand deutlich reduziert. Dies wirkt sich unmittelbar vorteilhaft auf den Wirkungsgrad der Strömungsmaschine aus.

- [0012] Eine unbenetzbare Oberflächenstruktur kann beispielsweise unter Ausnutzung des sogenannten "Lotus-Effekts" realisiert werden. Während die bekannten Ausgestaltungen der Kanalwand auf die Herstellung einer möglichst glatten, strukturlosen Oberfläche der Kanalwand zur Verminderung des Strömungswiderstandes abzielten, schlägt demgegenüber die Erfindung den Weg einer gezielten Strukturierung der Kanalwand ein. Dadurch wird die Kanalwand zumindest bereichsweise abweisend gegenüber dem Arbeitsfluid. Durch die Strukturierung der Oberfläche, dergestalt, dass diese einen "Lotus-Effekt" bewirkt, wird zudem der Verschmutzung der Kanalwand, beispielsweise der Beschaufelung, entgegengesetzt und damit das verschmutzungsbedingte Absinken des Wirkungsgrades vermieden oder zumindest deutlich verringert. Durch die geringere Neigung zur Verschmutzung können somit die Reinigungs-, Wartungs- oder Revisionsmaßnahmen an der Kanalwand, insbesondere an einer Leitschaufel oder einer Laufschaufel der Kanalwand, erheblich reduziert werden. Darüber hinaus können die Intervalle zwischen solchen Maßnahmen erheblich ausgedehnt werden. Möglicherweise ist auch eine Verminderung der Anforderungen an die Aufbereitung des Arbeitsfluids, beispielsweise eines Heißdampfs oder eines Verbrennungsgases, erreichbar. Mit der Strukturierung der Oberfläche der Kanalwand wird somit ein Selbstreinigungseffekt erreicht, da unbenetzbare Oberflächen auch nahezu unverschmutzbar sind. Dieser Zusammenhang wurde erst in jüngster Zeit detailliert untersucht und ist experimentell belegt.
- [0013] Grundlage des "Lotus-Effektes" sind demzufolge extrem aufgerauta, hydrophobe Oberflächen, an denen Wasser und Partikel praktisch nicht haften. Die Erfindung macht sich diese Erkenntnis zunutze und wendet sie erstmals zur Wirkungsgraderhöhung bzw. Wirkungsgraderhaltung in einer Strömungsmaschine an. Die besondere Strukturierung der Oberfläche der Kanalwand und die Fähigkeit zur Regeneration unterscheiden dieses Konzept grundlegend von herkömmlichen Strömungsmaschinen.
- [0014] Vorzugsweise weist die Kanalwand eine die Oberflächenstruktur aufweisende Turbinenschaufel auf. Die Turbinenschaufel kann dabei eine Laufschaufel oder eine Leitschaufel der Strömungsmaschine sein. Die Beschaufelung und die Oberfläche der Beschaufelung ist von besonderer Bedeutung für den Wirkungsgrad einer Strömungsmaschine. Daher ist die Ausgestaltung einer Turbinenschaufel mit einer Oberflächenstruktur, die für das Arbeitsfluid unbenetzbar ausgestaltet ist, besonders vorteilhaft. Zudem ist die Beschaufelung üblicherweise besonders empfindlich gegenüber Ablagerungen und Verschmutzungen durch Eintrag von Partikeln mit dem Arbeitsfluid in den Strömungskanal. Eine Revision oder aufwendige Reinigung der Beschaufelung kann somit entfallen oder zumindest auf zeitlich längere Revisionszyklen ausgedehnt werden.
- [0015] Vorzugsweise ist die Oberflächenstruktur von einer Schicht aus Mikrokristallen, insbesondere epicuticularen Wachskristallen, gebildet, wobei die Schicht eine Oberflächenrauhigkeit aufweist, die gezielt auf eine Unbenetzbarkeit durch das Arbeitsfluid abgestimmt ist.
- [0016] Hierbei kann die Oberflächenstruktur durch Ausbilden oder Aufbringen einer Schicht, beispielsweise auf einer herkömmlichen Turbinenschaufel, mittels Mikrostrukturierung erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann auf eine zu beschichtende Komponente der Kanalwand die Schicht mittels eines Beschichtungsverfahrens aufgebracht werden. Dabei kommen beispielsweise Mikrokristallstrukturen (Mikrokristallite) in der Größe von typischerweise wenigen um zur Anwendung. Als Beschichtungsmaterial können, wie aus den biologischen Systemen bekannt ist, sogenannte epicutikulare Wachskristalle Anwendung finden. Solche Kristallstrukturen bewirken einen "Lotus-Effekt". Es können aber auch zu den epicuticularen Wachskristallen äquivalente Kristallsysteme zum Einsatz kommen. Dies ist vom Anwendungsfall, insbesondere von der physikalischen und chemischen Zusammensetzung des Arbeitsfluids, abhängig.
- [0017] Hierbei kommt beispielsweise der Oberflächenrauhigkeit der Oberflächenstruktur eine ganz besondere Bedeutung zu. Der Grad der Benetzung eines Bereichs der Kanalwand ist über die Oberflächenrauhigkeit einstellbar. Die Oberflächenrauhigkeit wird durch die Oberflächenstruktur bestimmt, die durch Anordnung und Größe der Mikrokristalle auf der Oberfläche einstellbar ist. Die Oberflächenkräfte (Adhäsionskräfte) zwischen dem Arbeitsfluid und der Kanalwand mit der Oberflächenstruktur sind bei angepassten Rauigkeitsparametern deutlich reduziert gegenüber einer nicht in dieser Weise strukturierten Kanalwandoberfläche bei herkömmlichen Strömungsmaschinen. Eine an das jeweilige Arbeitsfluid angepasste Einstellung einer Oberflächenrauhigkeit führt somit zu einer durch das Arbeitsfluid unbenetzbaren Oberflächenstruktur mit den bereits genannten Vorteilen. Das Arbeitsfluid kann bei der Wechselwirkung mit der strukturierten Oberfläche hierbei in gas- oder dampfförmiger oder in flüssiger Form vorliegen.
- [0018] Die auf eine Turbinenschaufel gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Turbinenschaufel mit einer von einem Arbeitsfluid beaufschlagbaren Schaufeloberfläche, wobei die Schaufeloberfläche zumindest bereichsweise eine durch das Arbeitsfluid unbenetzbare Oberflächenstruktur aufweist.
- [0019] Die Vorteile einer solchen Turbinenschaufel ergeben sich entsprechend den Ausführungen zur Strömungsmaschine.
- [0020] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

FIG 1 in einem Ausschnitt eine Längsansicht einer Strömungsmaschine,

- FIG 2 eine Turbinenschaufel,
- FIG 3A bis FIG 3C jeweils in einem Ausschnitt eine Schnittansicht der in FIG 2 gezeigten Turbinenschaufel entlang der Schnittlinie III-III, und
- 5 FIG 4A bis FIG 4C jeweils eine den Figuren 3A bis 3C entsprechende Schnittansicht einer Turbinenschaufel mit herkömmlicher Oberflächenstruktur.

[0021] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

10 [0022] FIG 1 zeigt in einem Ausschnitt einen Längsschnitt einer Strömungsmaschine 1 am Beispiel einer Dampfturbine 3, beispielsweise einer Niederdruckdampfturbine. Entlang der Rotationsachse 7 aufeinander folgend weist die Dampfturbine 3 einen Einströmbereich 9 einen Beschaufelungsbereich 11, sowie einen Abströmbereich 13 auf. Weiter weist die Dampfturbine 3 einen Strömungskanal 5 auf, der von einer Kanalwand 15 begrenzt ist. Der Einströmbereich 9 der Beschaufelungsbereich 11 und der Abströmbereich 13 werden hierbei als Teilbereiche des Strömungskanals 5 15 aufgefasst. Im Beschaufelungsbereich 11 sind entlang der Längsachse 7 aufeinander folgend eine Anzahl von rotierbaren Laufschaufeln 19 und Leitschaufeln 21 angeordnet. Die Leitschaufeln 19 sind hierbei an der äußeren radialen Begrenzungsfläche einer Turbinenwelle 29 (Läufer) angeordnet. Die Leitschaufeln 21 sind an einem Leitschaufelträger 23 angeordnet, wobei der Leitschaufelträger 23 die Welle 29 mit den Laufschaufeln 19 in einem radialen Abstand umschließt, so dass der Strömungskanal entsprechend gebildet ist. Der Einströmbereich 9 wird radial von einem Einströmgehäuse 25 begrenzt, wobei das Einströmgehäuse 25 stromaufwärts mit dem Leitschaufelträger 23 verbunden ist. Stromabwärts ist ein Abströmgehäuse 27 vorgesehen, welches den Abströmbereich 13 in radialer Richtung begrenzt.

20 [0023] Im Betrieb der Dampfturbine 3 wird ein Arbeitsfluid A, z.B. ein heißer druckbeaufschlagter Dampf, dem Einströmbereich 9 zugestellt. Von dem Einströmbereich 9 strömt das Arbeitsfluid A in den Beschaufelungsbereich 5, wo es sich entlang der Rotationsachse 7 entspannt und dabei die Laufschaufeln 19 mit der Welle 29 in Rotation versetzt.

25 [0024] Zur Vermeidung von Strömungsverlusten und zur Erzielung eines Selbstreinigungseffektes in einer Dampfturbine 3 weist die Kanalwand 15 einen Kanalwandbereiche 17A, 17B, 17C auf. Dazu weisen die Kanalwandbereich 17A, 17B, 17C jeweils eine Oberflächenstruktur 47 (siehe Figuren 3A bis 3C) auf, die durch das Arbeitsfluid A unbenetzbar ist. Eine Leitschaufel 21 weist den Kanalwandbereich 17A auf. Eine Laufschaufel 19 weist den Kanalwandbereich 17B auf. Die Welle 29 umfasst einen Kanalwandbereich 17C. Die Kanalwandbereiche 17A, 17B, 17C sind exemplarisch und nur der Einfachheit halber als Teilbereiche der jeweiligen Turbinenkomponente 19, 21, 29 dargestellt. Es ist selbstverständlich, dass mit den eine durch das Arbeitsfluid A unbenetzbare Oberflächenstruktur 47 aufweisenden Kanalwandbereiche 17A, 17B, 17C auch andere Bereiche der Kanalwand 15 umfasst sein können. Insbesondere kann die gesamte den Strömungskanal 5 für das Arbeitsmedium A begrenzende Kanalwand 15 von den Kanalwandbereichen 17A, 17B, 17C umfasst sein.

30 [0025] Eine Laufschaufel 19 der in FIG 1 gezeigten Dampfturbine 3, beispielsweise eine Niederdruckdampfturbine, ist in FIG 2 in einer perspektivischen Ansicht dargestellt. Die Laufschaufel 19 erstreckt sich entlang einer Schaufellängsachse 41. Entlang der Schaufellängsachse 41 sind aufeinander folgend ein Befestigungsbereich 33, eine Schaufelplattform 37 sowie ein Schaufelblattbereich 31 vorgesehen. Der Befestigungsbereich 33 weist einen Schaufelfuß 35 auf. Der Schaufelfuß 35 ist in Form eines Hammerkopfes ausgestaltet. Alternative Ausgestaltungen des Schaufelfußes 35, beispielsweise als Schwalbenschwanz oder Tannenbaumfuß, sind möglich. Mit dem Schaufelfuß 35 ist die Schaufel 19 am Läufer 29 der Dampfturbine 3 befestigbar (siehe FIG 1). Die Laufschaufel 19 weist eine Schaufeloberfläche 39 auf. Die Schaufeloberfläche 39 ist zumindest teilweise von dem Schaufelblattbereich 31 und der Schaufelplattform 37 gebildet. Beim Einsatz der Laufschaufel 19 in der Dampfturbine 3 ist die Schaufeloberfläche 39 von der Kanalwand 15 umfasst.

35 [0026] Im Betrieb der Laufschaufel 19 ist die Schaufeloberfläche 39, insbesondere der Schaufelblattbereich 31 mit dem Arbeitsfluid A, der Heißdampf der Dampfturbine 3, beaufschlagt. Zur Verringerung von Strömungsverlusten und zur Erzielung eines Selbstreinigungseffektes weist die Laufschaufel 19 einen Kanalwandbereich 17B auf. Der Kanalwandbereich 17B ist hierbei im Schaufelblattbereich 31 gebildet. Der Kanalwandbereich 17B weist eine Oberflächenstruktur 47 auf, die durch das Arbeitsfluid A unbenetzbar ist. Hierzu ist die Schaufeloberfläche 39 im Kanalwandbereich 17B mit der Oberflächenstruktur 47 strukturiert. Dies ist anhand der Einzelheit X1 in der FIG 2 schematisch und in vergrößerter Darstellung veranschaulicht. Bei der Strukturierung der Schaufeloberfläche 39 im Kanalwandbereich 17B wird der "Lotus-Effekt" gezielt ausgenutzt, um die Strömungsverluste durch Oberflächenreibung zu minimieren und zusätzlich einen Selbstreinigungseffekt zu erreichen.

40 [0027] In den Figuren 3A bis 3C ist jeweils in einem Ausschnitt die Einzelheit X1 der Turbinenschaufel 19 entlang der Schnittlinie III-III dargestellt, um den Selbstreinigungseffekt des gemäß der Erfindung präparierten Kanalwandbereichs 17B näher zu erläutern. Zum Vergleich hierzu zeigen die Figuren 4A bis 4C entsprechende Darstellungen einer herkömmlichen, unpräparierten Schaufeloberfläche 39. Die in der Figur 3A gezeigte Schaufeloberfläche 39 weist in

dem Kanalwandbereich 17B eine durch das Arbeitsfluid A unbenetzbare Oberflächenstruktur 47 auf. Diese Oberflächenstruktur 47 begrenzt den Strömungskanal 5 für das Arbeitsfluid A (vgl. FIG 1). Die Oberflächenstruktur 47 ist von einer Schicht 45 aus Mikrokristallen 53, beispielsweise epicuticularen Wachskristallen oder äquivalente Kristallstrukturen, gebildet. Die Schicht 45 weist dabei eine Oberflächenrauhigkeit auf, die gezielt auf eine Unbenetzbarkeit durch das Arbeitsfluid A abgestimmt ist. Dies hat zur Folge, dass im Betrieb der Dampfturbine 3 das Arbeitsfluid A die Schaufeloberfläche 39 im Kanalwandbereich 17B nicht benetzt. Strömungswiderstände sind dadurch erheblich reduziert. Zudem ist ein Reinigungseffekt zu beobachten, der im Folgenden anhand der Sequenz der Figuren 3a bis 3c erläutert wird:

[0028] Betriebsbedingt kommt es nämlich zur Ablagerung von Partikeln 51A, 51B, 51C an der Oberfläche 39. Diese Verunreinigungen 51A, 51B, 51C verursachen bei einer herkömmlich ausgestalteten Kanalwand einen verschmutzungsbedingten Wirkungsgradabfall einer Strömungsmaschine 3. Durch die Oberflächenstruktur 47 mit den Mikrokristallen 53 kann jedoch ein Fluid-Mikrotropfen 49 im Kanalwandbereich 17B nicht auf der Schaufeloberfläche 39 anhaften, da aufgrund der eingestellten Oberflächenrauhigkeit Adhäsionskräfte zwischen dem Fluid-Mikrotropfen 49 und der Schaufeloberfläche 39 nicht auftreten, zumindest jedoch stark unterdrückt sind. Somit sind die Fluid-Mikrotropfen 49 entlang der Mikrostruktur 47 beweglich. Somit kann ein Fluid-Mikrotropfen 49, beispielsweise infolge von Strömungskräften entlang der Strömungsrichtung des Arbeitsfluids A angetrieben, im Kanalwandbereich 17B entlang der Schaufeloberfläche 39 entlang perlen und dabei die Partikel 51A, 51B, 51C auf nehmen und aus dem Kanalwandbereich 17B wegtransportieren. Die Verunreinigungen 51A, 51B, 51C können sich somit nicht dauerhaft auf der Schaufeloberfläche 39 ablagern. Mit der die Mikrokristalle 53 aufweisenden Oberflächenstruktur 47 ist mithin ein Selbstreinigungseffekt im Betrieb einer Strömungsmaschine 1 erreicht. Im Falle einer Dampfturbine 3, beispielsweise einer Niederdruckdampfturbine, besteht ein Fluid-Mikrotropfen 49 überwiegend aus Wasser. Bei der Anwendung der Oberflächenstruktur 47 beispielsweise in einer Gasturbine ist in analoger Weise ein Selbstreinigungseffekt aufgrund der verminderten Gasreibung zu erwarten. Die Erfindung ist mithin sowohl auf gas- oder dampfförmige, als auch auf flüssige Phasen eines Arbeitsfluids A anwendbar. Die Schicht 45 mit Mikrokristallen 53 kann hierbei auf den Grundwerkstoff 43 der Turbinenschaufel 19, beispielsweise eine hochtemperaturfeste Legierung oder ein Edelstahl, mittels eines Beschichtungsverfahrens aufgebracht sein. Eine Schicht 45 mit Mikrokristallen 53 kann aber auch direkt mittels Strukturierung des Grundwerkstoffs 43, beispielsweise durch Mikro- oder Nanotechnologie, realisiert sein. Auch ist die Ausrüstung herkömmlicher Turbinenschaufeln 19, 21, beispielsweise mit einer einfachen Beschichtung oder einem Anstrich, zur Erreichung des gewünschten "Lotus-Effektes" möglich.

[0029] Im Vergleich dazu zeigt die Sequenzen Figuren 4A bis 4C die Oberfläche 39 einer herkömmlichen Laufschaukel 19 bei Beaufschlagung mit dem Arbeitsfluid A. Der Zusammenhang zwischen Rauigkeit und Selbstreinigung ist klar ersichtlich. Während auf der weitgehend glatten Schaufeloberfläche 39 die Schmutzpartikel 51A, 51B, 51C (FIG 4A) durch den Fluid-Mikrotropfen 49 nur verlagert werden, haften sie sich auf der rauen Schaufeloberfläche 39 (FIG 3A) mit der Oberflächenstruktur 47 am Fluid-Mikrotropfen 49 und werden von dem Fluid-Mikrotropfen 49 beim Abrollen oder Abperlen von der Schaufeloberfläche 39 mitgetragen und so abgewaschen. Diese Verringerung der Adhäsion eines Fluid-Mikrotropfens 49 und partikelförmigen Kontaminationen 51A, 51B, 51C ist mit den in den Figuren 4A bis 4C gezeigten herkömmlichen Schaufeloberflächen 39 nicht erreichbar.

40 Patentansprüche

1. Strömungsmaschine (1) mit einem Strömungskanal (5) für ein Arbeitsfluid (A), welcher von einer Kanalwand (15) mit einer zumindest bereichsweise durch das Arbeitsfluid (A) unbenetzbaren Oberflächenstruktur (47) begrenzt ist.
2. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 1,
wobei die Kanalwand (5) eine die Oberflächenstruktur (47) aufweisende Turbinenschaufel (19, 21) aufweist.
3. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 1 oder 2,
wobei die Oberflächenstruktur (47) von einer Schicht (45) aus Mikrokristallen (53), insbesondere epicuticularen Wachskristallen, gebildet ist, wobei die Schicht eine Oberflächenrauhigkeit aufweist, die gezielt auf eine Unbenetzbarkeit durch das Arbeitsfluid (A) abgestimmt ist.
4. Turbinenschaufel (19, 21) mit einer von einem Arbeitsfluid (A) beaufschlagbaren Schaufeloberfläche (39), wobei die Schaufeloberfläche (39) zumindest bereichsweise eine durch das Arbeitsfluid (A) unbenetzbare Oberflächenstruktur (47) aufweist.

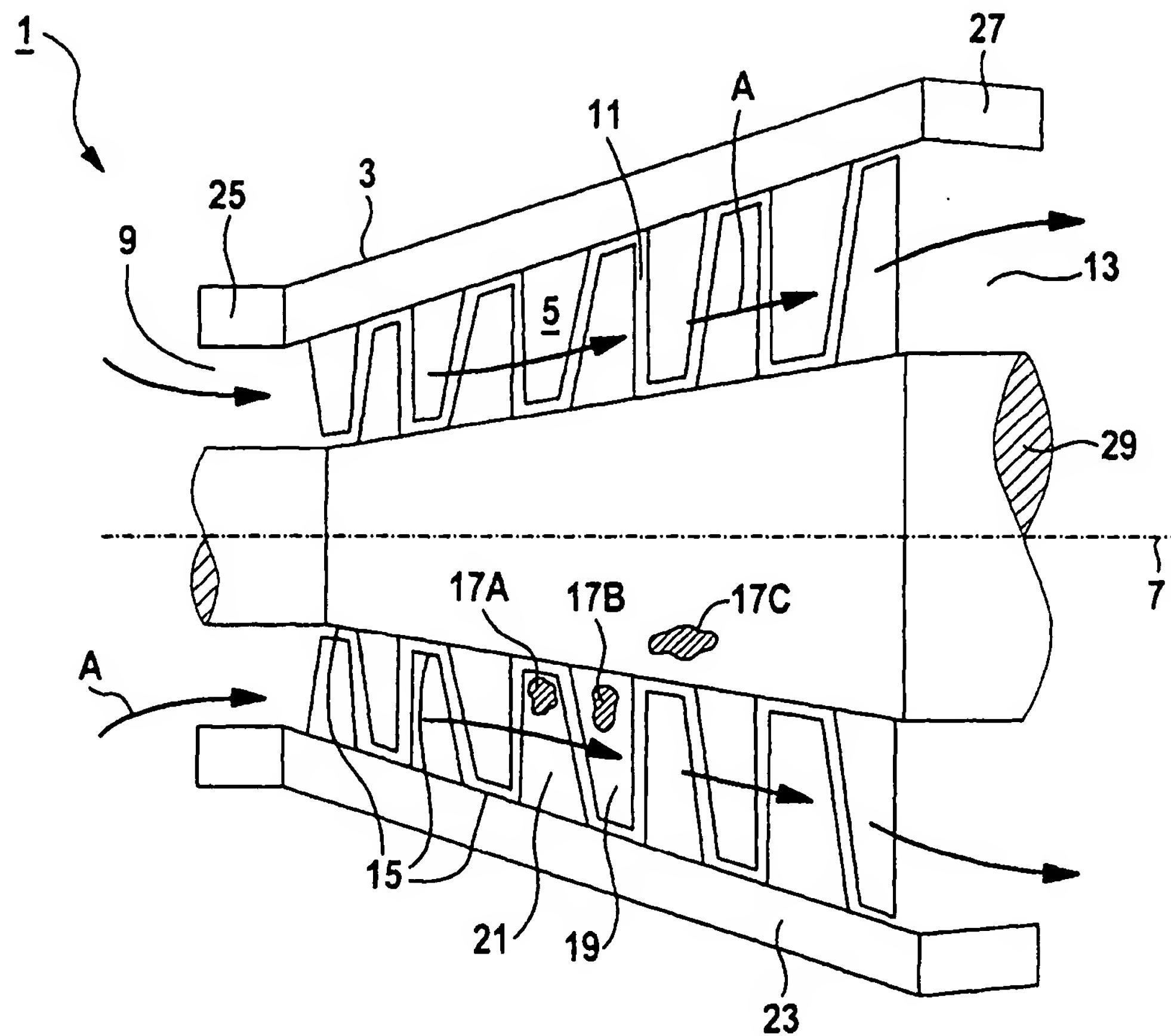


FIG 1

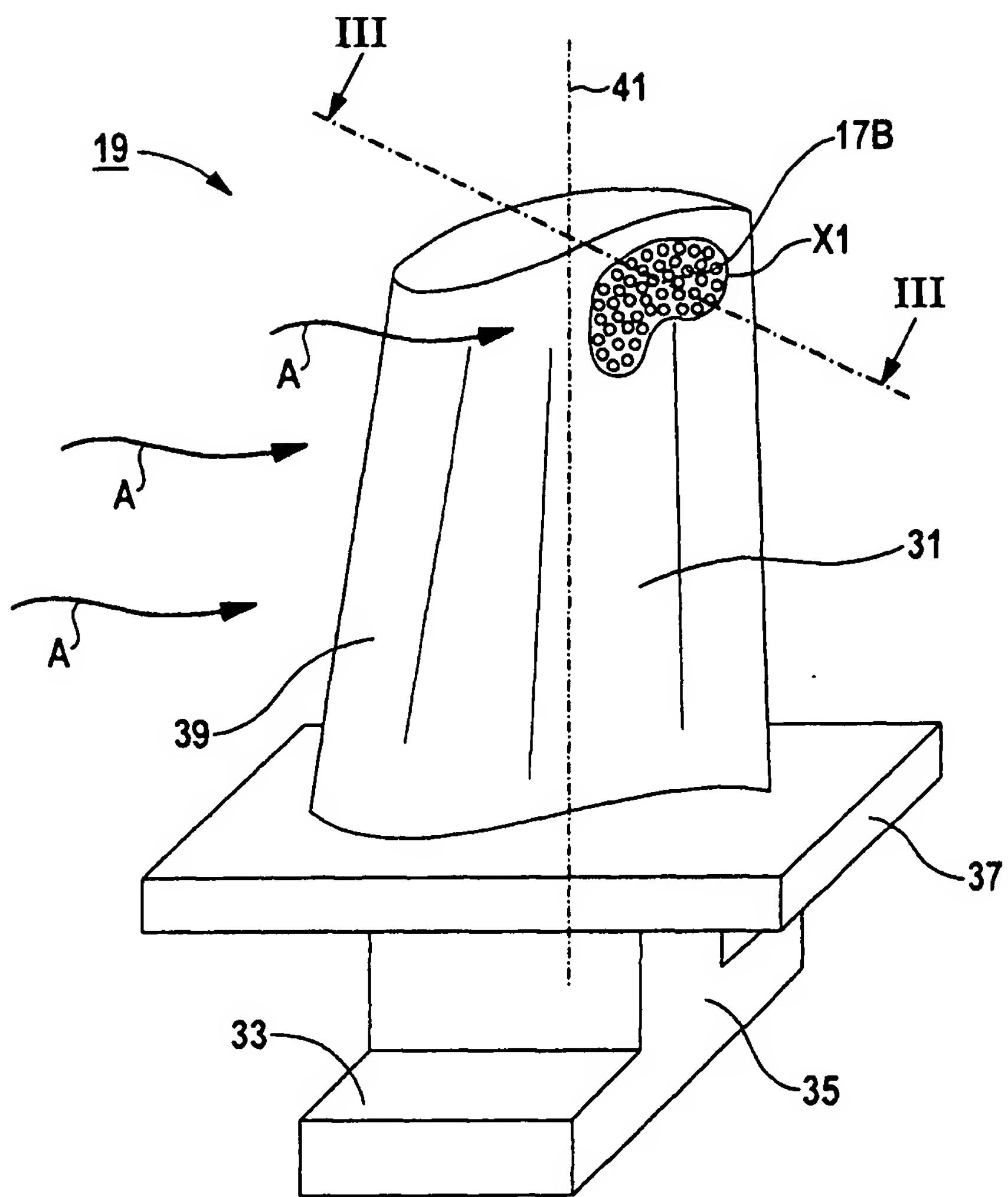


FIG 2

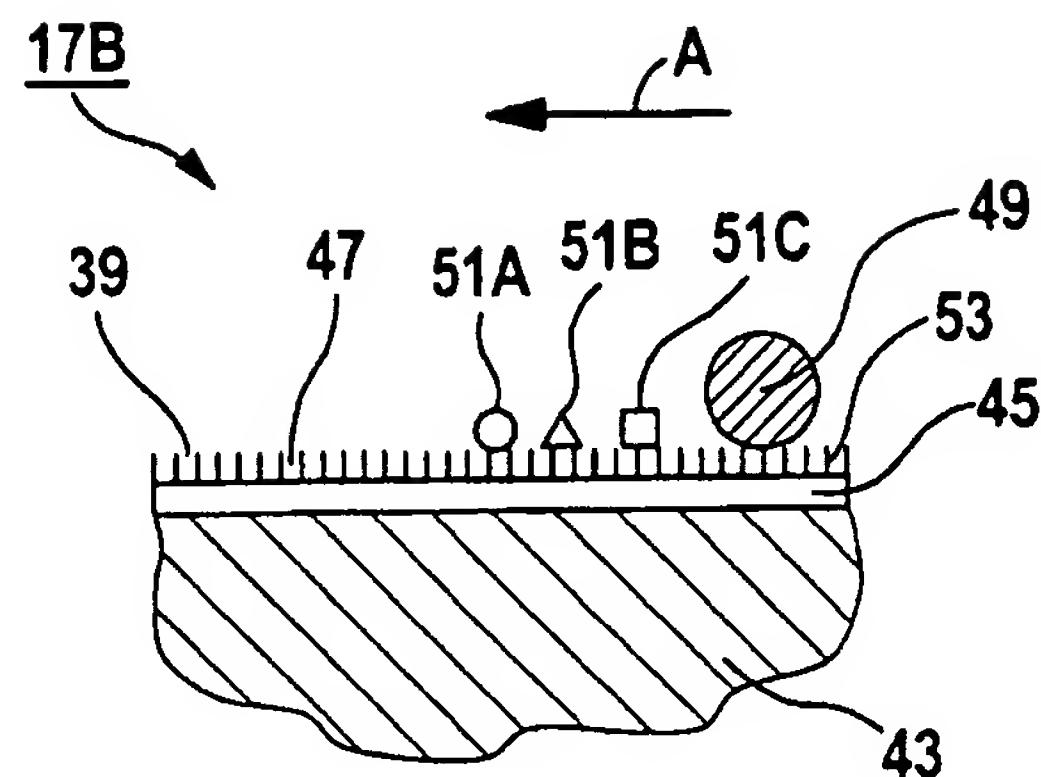


FIG 3A

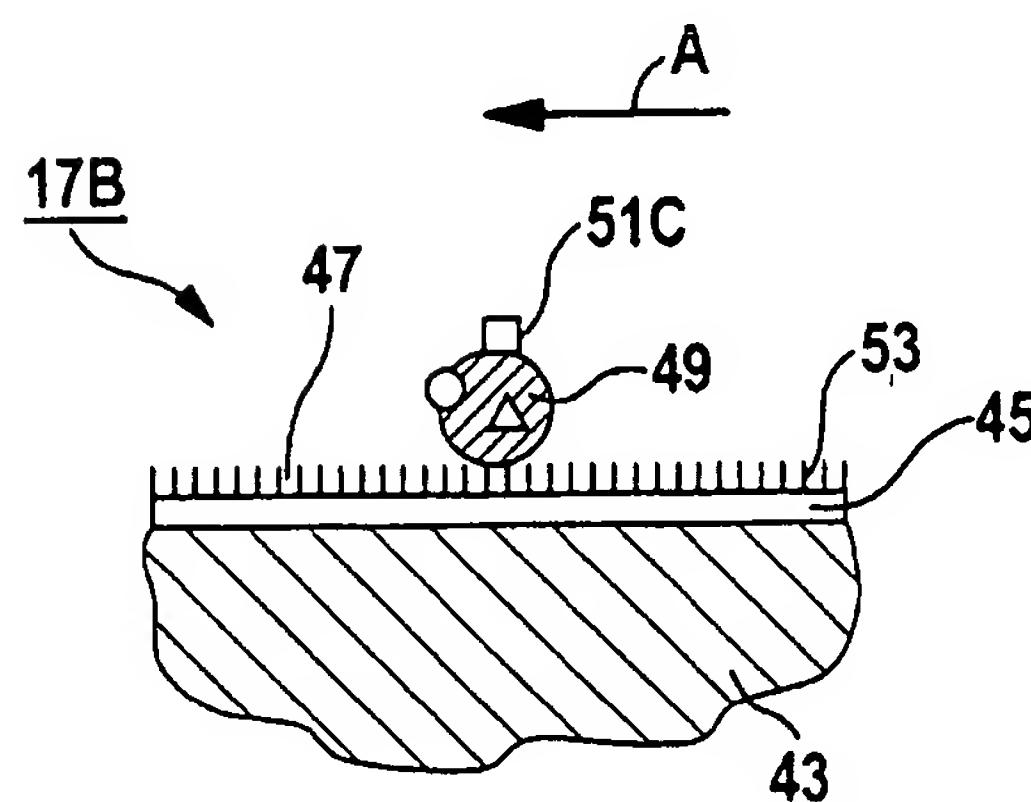


FIG 3B

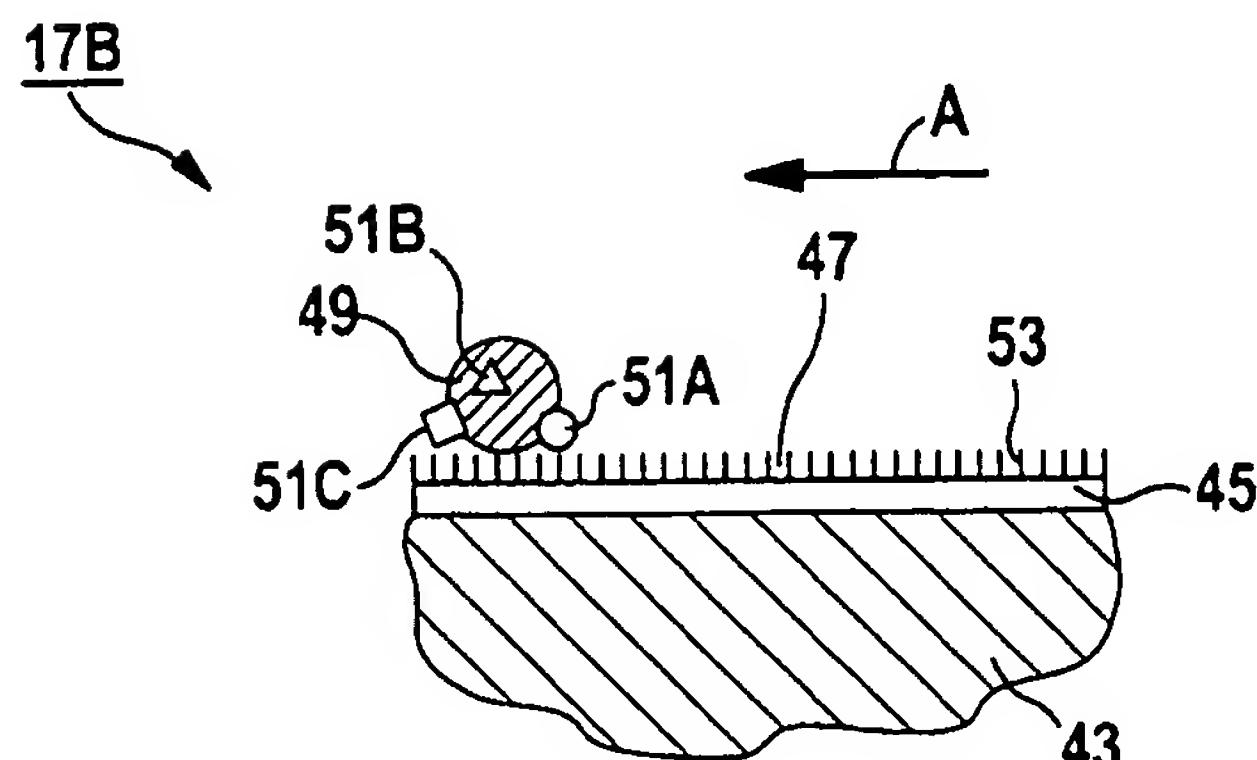


FIG 3C

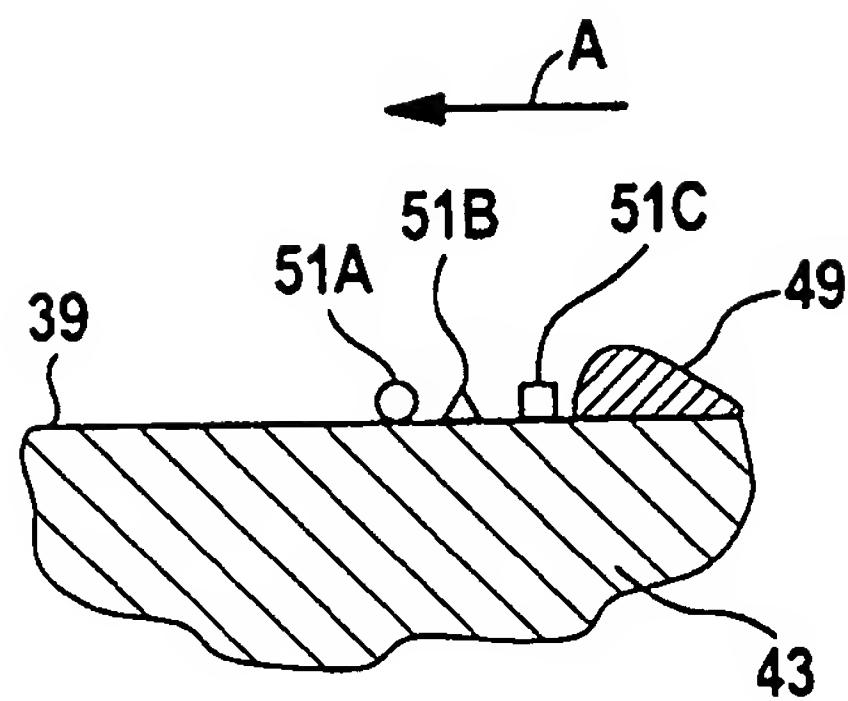


FIG 4A

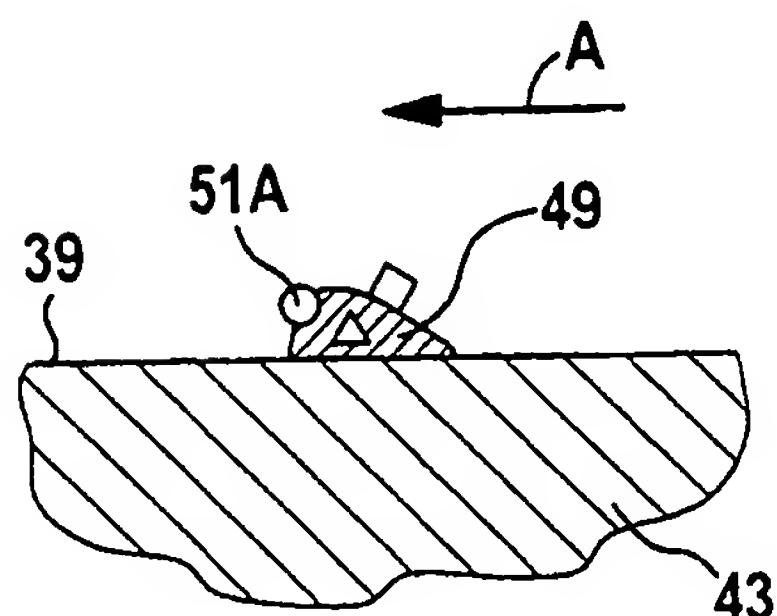


FIG 4B

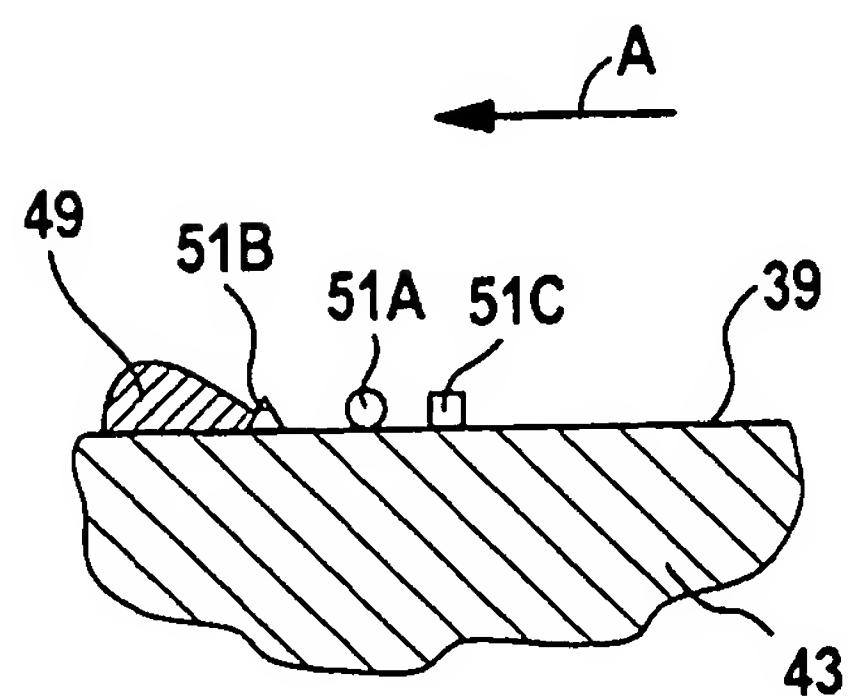


FIG 4C



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 11 9578

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE | | | |
|--|--|--|---|
| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7) |
| X | GB 1 253 278 A (BORG-WARNER CORPORATION) 10. November 1971 (1971-11-10) | 1,2,4 | F01D5/28 F02C7/30 |
| Y | * Seite 1, Zeile 29 - Zeile 34 * * Seite 1, Zeile 58 - Zeile 72 * * Abbildungen 1,3 * * Anspruch 1 * --- | 3 | |
| Y | BARTHLOTT W ET AL: "PURITY OF THE SACRED LOTUS, OR ESCAPE FROM CONTAMINATION IN CONTAMINATION IN BIOLOGICAL SURFACES" PLANTA, SPRINGER VERLAG, DE, Bd. 202, 1997, Seiten 1-8, XP000925073 ISSN: 0032-0935 * das ganze Dokument * | 3 | |
| X | WO 00 34651 A (WOBBEN ALOY) | 4 | |
| | 15. Juni 2000 (2000-06-15) | | |
| | * Seite 2, Absatz 3 * | | |
| | * Seite 2, Absatz 5 * | | |
| | * Seite 3, Absatz 2 * | | |
| | * Abbildung 2 * | | |
| | --- | | |
| A | US 4 695 229 A (FEULING JAMES J) 22. September 1987 (1987-09-22) | 1-4 | F01D F02C B63B F03D |
| | * Spalte 3, Zeile 36 - Zeile 48 * * Spalte 4, Zeile 17 - Zeile 25 * | | |
| A | BARTHLOTT W ET AL: "NUR WAS RAUH IST, WIRD VON SELBST SAUBER" TECHNISCHE RUNDschAU, HALLWAG VERLAG. BERN, CH, Bd. 91, Nr. 10, 21. Mai 1999 (1999-05-21), Seiten 56-57, XP000873084 ISSN: 1023-0823 * das ganze Dokument * | 1-4 | |
| | --- | | |
| | -/- | | |
| <p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p> | | | |
| Recherchenort | Abschlußdatum der Recherche | Prüfer | |
| DEN HAAG | 23. März 2001 | Steinhauser, U | |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE | | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist O : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument .. & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument | |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur | | | |



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 11 9578

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE | | | |
|--|--|--|---|
| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7) |
| A | <p>HANSMAN R JOHN JR ET AL: "SURFACE WETTING EFFECTS ON A LAMINAR FLOW AIRFOIL IN SIMULATED HEAVY RAIN" J AIRCR DEC 1985, Bd. 22, Nr. 12, Dezember 1985 (1985-12), Seiten 1049-1053, XP002163734 * das ganze Dokument *</p> <p>-----</p> | 1-4 | |
| RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) | | | |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt | | | |
| Recherchenart | Abschlußdatum der Recherche | | Prüfer |
| DEN HAAG | 23. März 2001 | | Steinhauser, U |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE | | | |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur | | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument | |

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 00 11 9578

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Orientierung und erfolgen ohne Gewähr.

23-03-2001

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | | Datum der Veröffentlichung | | Mitglied(er) der Patentfamilie | | Datum der Veröffentlichung |
|--|---|-------------------------------|--|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| GB 1253278 | A | 10-11-1971 | | CA 924241 A | | 10-04-1973 |
| | | | | US 3514216 A | | 26-05-1970 |
| WO 0034651 | A | 15-06-2000 | | DE 29822003 U | | 01-04-1999 |
| | | | | DE 19929386 A | | 21-06-2000 |
| | | | | AU 1974300 A | | 26-06-2000 |
| | | | | DE 29923485 U | | 07-12-2000 |
| US 4695229 | A | 22-09-1987 | | KEINE | | |

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82